Janusz ŚLIWKA
Katedra Budowy Maszyn, Politechnika Śląska

RYS HISTORII MASZYN ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM OBRABIAREK

Streszczenie. W artykule przedstawiono w skrótowej formie etapy rozwoju maszyn. Szczególną uwagę poświecono wybranym maszynom jakimi są obrabiarki skrawające do metali. Na zakończenie artykułu zamieszczono kalendarium wydarzeń związanych z najważniejszymi odkryciami z dziedziny budowy maszyn.

1. WPROWADZENIE

Historia ludzkości związana jest ściśle z rozwojem techniki. Od początku swojego istnienia człowiek w codziennej walce o przetrwanie pomagał sobie stosując różnego rodzaju narzędzia. Początkowo narzędzia te były mu dostarczane przypadkowo przez przyrodę, ale z czasem sam nauczył się nadawać przedmiotom np. kamieniom, pożądane kształty. Z czasem używane narzędzia ulegały coraz większej specjalizacji. Narzędzia rozbudowywano i łączono, dzięki czemu powstały pierwsze maszyny. Współczesne maszyny stanowią wynik wielowiekowej ewolucji narzędzi i przedmiotów codziennego użytku. Trudno wyrokować jak wyglądała i kiedy powstała pierwsza maszyna. Najprawdopodobniej pierwszymi prymitywnymi maszynami wynalezionymi przez człowieka był łuk i miotacz dzid. Znaleziska archeologiczne datują te wynalazki na okres średniego paleolitu[1]. Wyraz „maszyna" pochodzi z narzecza doryckiego[2] („*mechene*"), gdzie oznaczał środek pomocniczy, narzędzie. Zaryzykować

[1] *Paleolit*, starsza epoka kamienia, epoka kamienia łupanego, najstarszy i najdłuższy etap w dziejach społeczeństw ludzkich, trwający od ok. 1 mln do ok. 8 tys. lat p.n.e., charakteryzujący się gospodarką zbieraczo-łowiecką, brakiem umiejętności uprawy roli, hodowli, wyrobu ceramiki.

[2] *Dorowie* (gr. Dorieís) starożytne plemiona greckie, które ok. 1200 r. p.n.e. przywędrowały na Peloponez, osiedliły się tu, niszcząc kulturę mykeńską, tworząc państwa-miasta (np. Spartę, Megarę, Argos, Korynt).

można stwierdzenie, iż cały czas mamy do czynienia z ewolucją narzędzi i maszyn. To co kiedyś uważane było za maszynę dla współczesnego człowieka jest narzędziem, to co dla nas jest maszyną dla naszych potomków będzie narzędziem. Ciekawie na rozwój maszyn spojrzał *Karol Marks*. W dziele „Nędza filozofii" pochodzącym z 1949 roku napisał: „*Narzędzia proste, nagromadzenie narzędzi, narzędzia złożone, wprawianie w ruch narzędzi złożonych przez jeden motor ręczny, przez człowieka, wprawianie tych narzędzi w ruch przez siły przyrody, maszyna, system maszyn posiadających jeden motor, układ maszyn mających jeden motor automatyczny – oto dzieje rozwoju maszyny*"

2. WYNALAZCZOŚĆ NA PRZESTRZENI WIEKÓW

Trudno jednoznacznie odpowiedzieć, które z wynalazków można uznać za najbardziej doniosłe w dziejach ludzkości. Historyk techniki F.M. Feldhaus za szczególnie doniosłe wynalazki uważa te, które nie mają pierwowzorów w przyrodzie . Jego zdaniem jednym z pierwszych takich wynalazków było znane już w czasach prehistorycznych ręczne wrzeciono, z którego wywodzą się wszystkie późniejsze maszyny wirujące. Jego znaczenie polegało na tym, że w przyrodzie nie ma pierwowzoru ruchu wirowego; przyroda zna tylko ruch prostoliniowy i wahadłowy.

Angielski historyk *S. Lilley* podaje wykaz wynalazków wraz z ocenami punktowymi [7]. Ocena wynalazków za pomocą punktów przeprowadzona została wg zasady, iż jeden punkt otrzymywał wynalazek mający znaczenie dla szeregu gałęzi przemysłu, pół punktu przyznano wynalazkom mającym znaczenie dla jednej gałęzi przemysłu; wynalazki o mniejszym znaczeniu ocenione zostały odpowiednio niżej. Przytoczmy za *Lilley'em* kilka wynalazków powstałych na przestrzeni wieków z dziedziny szeroko rozumianej budowy maszyn, które uzyskały najwyższe oceny punkowe.

Wytapianie miedzi z rud (ok. 4000 r.p.n.e*)*
Odlewnictwo (ok. 3700 r.p.n.e)
Wóz kołowy (ok. 3700 r.p.n.e)
Krążek liniowy (ok. 700 r.p.n.e)
Młyn wodny (ok. 80 r.p.n.e)
Młyn wiatrakowy (1105 r.n.e)
Ster okrętowy (1250 r.n.e)
Tokarka (1350 r.n.e)
Surówka żelazna (1400 r.n.e)
Wytapianie żelaza na koksie (1717 r.n.e)

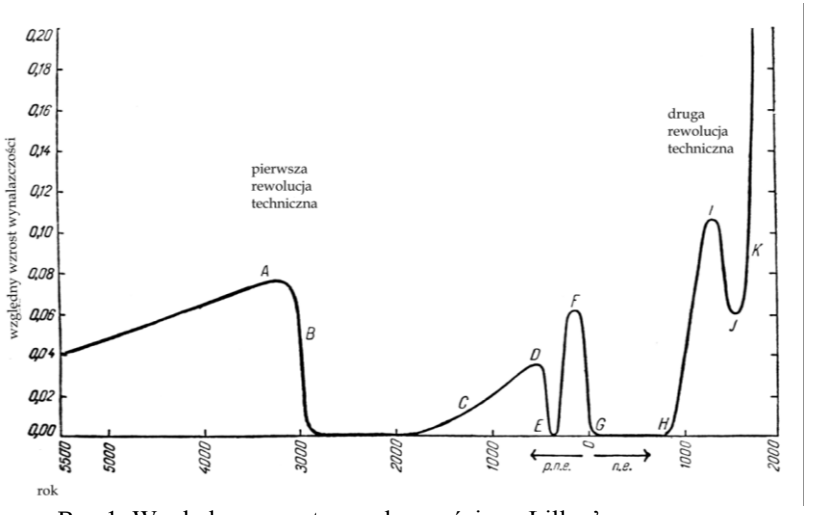
Maszyna parowa Watta (1781 r.n.e)
Udoskonalona tokarka Maudslaya (1794 r.n.e)
Strugarka (1820 r.n.e)
Turbina wodna (1827 r.n.e)
Tokarka rewolwerowa (1845 r.n.e)
Stal besemerowska (1856 r.n.e)
Tokarka automatyczna (1870 r.n.e)
Turbina parowa (1884 r.n.e)
Stale narzędziowe szybkotnące (1898 r.n.e)
Samolot (1903 r.n.e)
Taśmowa produkcja masowa (1913 r.n.e)

Również za [7] przytoczyć można wykres obrazujący rozwój wynalazczości na przestrzeni dziejów ludzkości (Rys.1).Wysokość krzywej w każdym punkcie przedstawia procentowy wzrost wyposażenia technicznego przeciętnie w ciągu jednego roku. Duża wysokość krzywej odpowiada szybkiemu rozwojowi technicznemu, mała wysokość odzwierciedla niski postęp techniczny. Na rysunku widać duży wzrost wynalazczości występujący do roku 3000 p.n.e. nazwany pierwszą rewolucję techniczną oraz wzrost rozpoczęty około roku 1700 n.e. będący początkiem drugiej rewolucji technicznej.

Zaczątkiem pierwszej rewolucji technicznej było z pewnością wprowadzenie nowych metod w produkcji rolniczej co mało miejsce w okresie neolitycznym[3]. Dotychczas każdy człowiek był samowystarczalny, natomiast uzyskanie nadwyżek w produkcji rolniczej pozwoliło na powstanie nowych wyspecjalizowanych zawodów takich jak tkacze czy górnicy. W okresie neolitu mały miejsce trzy przełomowe odkrycia. Pierwszym był proces wytapiania metalu z rudy. Drugim był proces odlewania. Produkcja narzędzi metalowych wymogła powstanie bardziej, niż dotychczas w dziejach ludzkości, złożonych form i metod organizacyjnych. Trzecim wynalazkiem było koło garncarskie, które umożliwiło wykonywanie wyrobów garncarskich mniejszym nakładem

[3] *Neolit, młodsza epoka kamienia*, faza rozwoju społeczeństw ludzkich wiążąca się z przejściem od myślistwa i zbieractwa do gospodarki produkcyjnej opartej na rolnictwie i hodowli. Końcowy okres epoki kamienia, poprzedzający epokę brązu. Początek neolitu datuje się na ok. 7000 lat p.n.e., trwał do ok. 2 tys. lat p.n.e. W okresie neolitu pojawiły się narzędzia i broń wykonane z kamieni gładzonych, stąd dawna nazwa - epoka kamienia gładzonego. Przejście do gospodarki rolniczo-hodowlanej zdynamizowało ogólny rozwój ludzkości. Powstały skupiska osadnicze, a także pierwsze organizmy państwowe nad Eufratem i Tygrysem (Mezopotamia), Nilem (Egipt), Indusem. Rozwinęły się kultury europejskie, m.in. kultury naddunajskie.

pracy i uczyniło z garncarstwa pierwszy zmechanizowany przemysł produkcyjny – protoplastę dzisiejszej produkcji masowej.



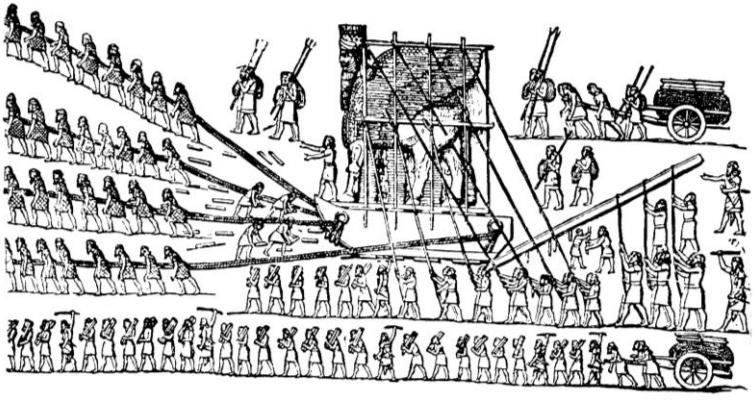
Rys.1. Względny wzrost wynalazczości wg Lilley'a

Około roku 3000 p.n.e. (punkt A na Rys.1.) zaczęły pojawiać się pierwsze cywilizacje. Najbardziej doniosłym odkryciem tego okresu w dziedzinie technik wytwarzania było wprowadzenie brązu stopu miedzi z cyną. Najlepszym przykładem możliwości wytwórczych ówczesnych ludzi są z pewnością piramidy egipskie. Wielka piramida Cheopsa została zbudowana z około 23 mln. bloków kamiennych, których łączny ciężar wynosił około 5,7 mln. ton przy czym ciężar największych bloków dochodził do 350 ton. Jak podaje Herodot[4] przy transporcie bloków pracowało około 100 tysięcy ludzi w ciągu 3 miesięcy w roku przez okres 10 lat. Na uwagę zasługuje fakt, iż przy długości boku podstawy piramidy wynoszącego 236 metrów błędy wykonania nie przekraczają 2,5 centymetra na długości poszczególnych boków i w odchyleniu podstawy od poziomu.

Po roku 3000 p.n.e. (punkt B na Rys.1.) następuje gwałtowny spadek wynalazczości spowodowany najprawdopodobniej utrwaleniem się kastowego charakteru społeczeństw. Kasty rządzące mając do dyspozycji tanią siłę roboczą nie były zainteresowane usprawnieniami, kasty niższe nie

[4] *Herodot* – (lata 484-425 p.n.e.) najstarszy historyk grecki, którego dzieła zachowały się prawie w całości.

były zainteresowane ulepszeniem metod produkcji, gdyż i tak nadwyżka produkcji byłaby im odbierana.



Rys.2. Transport w epoce brązu [7]

Taki zastój przerywany tylko nielicznymi odkryciami jak wynalezienie około roku 1800 p.n.e. koła ze szprychami, trwał aż do lat 1000 p.n.e. (punkt C) i został przerwany przez odkrycie metod wytwarzania żelaza (stali). Dostępność stopów żelaza jako materiału konstrukcyjnego pozwoliła na wytwarzanie części różnych mechanizmów i maszyn oraz użycie lepszych narzędzi do obróbki drewna i kamieni. Żelazo zostało nazwane metalem demokratycznym, gdyż oprócz niepodważalnych zalet w porównaniu z brązem, żelazo było dużo bardziej rozpowszechnione w przyrodzie, a przez to bardziej dostępne. Tańsze żelazo pozwoliło większej liczbie ludzi otrzymywać bardzo dobre narzędzia bez konieczności kłopotliwego transportu oraz bez wymiany handlowej. Nowe tworzywo i jego dostępność gwałtownie pobudziło różnego rodzaju wynalazczość. Z tych czasów pochodzą pierwsze wyczerpujące dokumenty opisujące zagadnienia z zakresu mechaniki i techniki. Do najwybitniejszych dzieł tego okresu należą prace *Archimedesa* (287-212 r.p.n.e.). Rozwinięciem teorii dźwigni zapoczątkował Archimedes naukę mechaniki teoretycznej. Z czasów tych pochodzi pierwszy opis urządzenia zawierającego prymitywna przekładnię zębatą. *Witruwiusz* w swoim dziele „De Architectura" podaje opis młyna wodnego, w którym ruch z koła wodnego na koło młyńskie

przenoszony jest za pomocą przekładni zębatej (patrz Rys.3)[5]. W starożytnej Grecji powstało wiele różnych mechanizmów m.in. dźwigniowe, krzyżakowe, zapadkowe hydrauliczne i pneumatyczne, których twórcami byli *Archimedes*, *Ktesibios*, *Filon* z Bizancjum i *Heron* z Aleksandrii. *Filon* opisał w 230 r. p.n.e. przegub krzyżowy, uchodzący powszechnie za wynalazek *Geronima Cardana* (powstały w 1550 r.n.e.). Niewiele później powstały łożyska toczne, opisane już przez *Witruwiusza*, z czasów rzymskich pochodzą również najstarsze zachowane mechanizmy śrubowe i połączenia gwintowe. Rozwój postępu trwał aż do szczytowego okresu kultury ateńskiej (punkt D). Zaburzenia gospodarcze i wojny spowodowane podziałem świata greckiego na państwa-miasta spowodowało zahamowanie postępu technicznego (punkt E). Największy od trzech tysięcy lat wzrost aktywności społeczeństw (punkt F) spowodowany był podbojami Aleksandra Wielkiego.

Rys.3. Rekonstrukcja młyna wodnego wg Witruwiusza [7]

[5] Powszechnie przekładnie zębatą zaczęto stosować w budowie zegarów w XIV wieku w Mediolanie. Prace nad modyfikacją zazębień zegarowych doprowadziły do odkrycia zarysu ewolwentowego i cykloidalnego zębów.

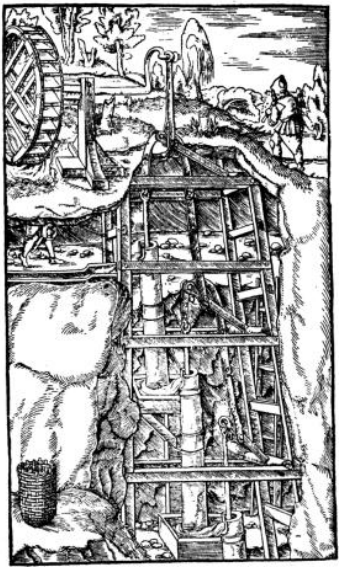
Aleksander Wielki rozdzielił władzę cywilną i wojskową w okręgach administracyjnych (satrapiach), natomiast administracja podatkowa pozostała jedna dla całego państwa. Na podbitych przez siebie obszarach wprowadził on jednolity system monetarny (stopa ateńska). Miejsce orientalnej gospodarki królewskiej opartej na tezauryzacji złota zajął system otwarty na świat. Podstawą wszelkich operacji finansowych stała się moneta srebrna. Sprzyjało to powstaniu ogromnej strefy gospodarczej. Greka stała się językiem międzynarodowym (*koiné*). Podejmowane były ekspedycje w celu ekspansji gospodarczej jak np. poszukiwania przyczyn wylewów Nilu, czy wyprawa z delty Indusu do ujścia Tygrysu i Eufratu. Powstało wtedy około 70 miast, z których promieniowała później kultura grecka [8]. Stan ten trwał do upadku Imperium Rzymskiego. Od początków naszej ery do końca pierwszego millenium nastąpił okres powszechnego stosowania maszyn w całej Europie. Trend ten nie znalazł odbicia we wzroście krzywej na wykresie (Rys.1., punkty od G do H), gdyż mieliśmy tu do czynienia bardziej ze stosowaniem dawniej odkrytych praw i zjawisk (koło wodne – patrz Rys.4.) niż z powstawaniem nowych maszyn i metod produkcji.

Po roku 1000 naszej ery następuje stały duży wzrost wynalazczości trwający do dnia dzisiejszego. Na komentarz zasługuje spadek aktywności wynalazczej w latach 1300 do 1700 (punkt J). Lilley tłumaczy ten spadek tym, iż nowe maszyny i urządzenia powstałe w wiekach średnich, mogły być w pełni zastosowane w przemyśle o nowej strukturze a więc w przemyśle kapitalistycznym. Ustrój feudalny uniemożliwiał rozwój kapitalizmu i tym samym hamował wprowadzanie nowych maszyn i urządzeń. Brak możliwości pełnego stosowania nowych istniejących metod technicznych powstrzymywał powstawanie nowych wynalazków.

Można zaryzykować twierdzenie, iż podwaliny dzisiejszego przemysłu maszynowego tkwią w początkach drugiej rewolucji technicznej. Wiele osiągnięć zakresu techniki, które zostały urzeczywistnione dopiero w 19 wieku miało swoje korzenie w początku wieku 15. Wtedy to ludzkość zaczęła świadomie jak nigdy dotychczas w historii dążyć do doskonalenia już istniejących i tworzenia nowych maszyn. Zaczęły powstawać liczne towarzystwa naukowe. W roku 1560 w Neapolu powstało pierwsze takie towarzystwo Akademia Tajemnic Przyrody (*Academia Secretorum Naturae*) zajmujące się zbieraniem i systematyzowaniem wiedzy technicznej oraz popieraniem wynalazczości. Odpowiednikiem włoskiego było francuskie Towarzystwo Popierania Rozwoju Przemysłu Narodowego (*Societe d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*), które wspierało

wynalazczość przyczyniając się między innymi do opracowania nowych konstrukcji turbin wodnych. W tym czasie zostały opublikowane pierwsze dzieła z dziedziny mechaniki i budowy maszyn.

Największym geniuszem technicznym owych czasów był z pewnością *Leonardo da Vinci*[6]. Pozostawił on po sobie około 5000 stron notatek poświeconych różnorodnym zagadnieniom z dziedziny nauki i techniki. Trudno wymienić wszystkie wynalazki włoskiego geniusza, do najistotniejszych z pewnością należą maszyny włókiennicze, wiatrak wieżyczkowy, łożyska kulkowe. Leonardo da Vinci opierał swe konstrukcje na obliczeniach, do których dane czerpał z licznych doświadczeń. Pisał w ten sposób: *„Zanim zrobisz z danego wypadku regułę, wypróbuj ją przez doświadczenie dwa lub po trzy razy i przekonaj się, czy doświadczenie daje zawsze ten sam wynik”*.



Rys.4. Pompy napędzane przez koło wodne [7]

[6] *Leonardo da Vinci* (1452-1519), włoski malarz, rzeźbiarz, architekt, konstruktor, teoretyk sztuki, filozof, wszechstronny i najdoskonalszy przedstawiciel renesansu. Uważany za jednego z największych geniuszy w historii cywilizacji, który w sposób harmonijny łączył indywidualność wielkiego artysty z olbrzymią wiedzą uczonego. Wpłynął na całe pokolenia twórców w różnych dziedzinach sztuki i techniki.

Mając dar genialnej intuicji Leonardo równocześnie dążył do zwiększenia zasobu uogólnionych wiadomości zmniejszających niepewność osiągnięcia pożądanego skutku. On to był pierwszym, który badał wpływ poszczególnych zespołów cech maszyn na całość. Badał różne zjawiska, na przykład zjawisko tarcia, czy wytrzymałość materiałów konstrukcyjnych.

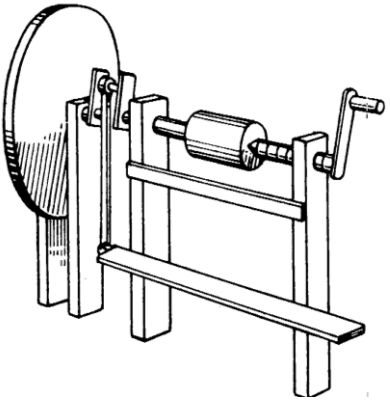
Nie sposób, na kilku stronach wymienić wszystkich doniosłych odkryć oraz wybitnych osobowości mających udział w rozkwicie drugiej rewolucji technicznej. W następnym rozdziale spójrzmy na rozwój maszyn poprzez pryzmat rozwoju maszyn technologicznych do obróbki skrawaniem (obrabiarek).

3. ROZWÓJ OBRABIAREK

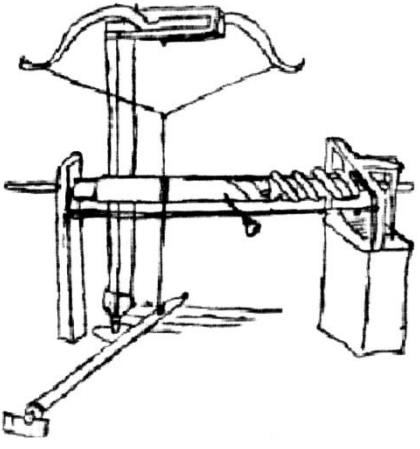
Pierwszą historycznie udokumentowaną obrabiarką była tokarka**,** która była prawdopodobnie używana w *Mykenach* 1200 lat p.n.e. Tokarek z pewnością używali około 700 roku p.n.e. *Etruskowie*, a do Egiptu dotarły one około 200 roku p.n.e. W jednym z wczesnych rozwiązań tokarki, naciskając nogą pedał, wprawiano kawałek drewna w szybki ruch obrotowy. Do kawałka drewna przykładano dłuto trzymane w ręce, skrawając go, aby nadać mu cylindryczny kształt. W średniowieczu wprowadzono obrabiarki napędzane siłą wody: tokarki, piły, wiertarki, młoty i inne. Dzięki zaprzęgnięciu koła wodnego do napędzania maszyny, obrabiarki mogły być używane do coraz poważniejszych zadań, a obsługujący je rzemieślnik nie był rozpraszany podczas pracy koniecznością wprawiania urządzenia w ruch.

Leonardo da Vinci pozostawił po sobie między innymi szkice drewnianej tokarki z napędem ręcznym pochodzącej z około 1485 roku pokazanej na Rys.5. oraz pierwszej tokarki do gwintów napędzanej pedałem nożnym, w której gwint uzyskiwany był od wzornika (szablonu) widocznego z prawej strony na Rys.6.

Inne rozwiązanie tokarki do gwintów zaproponował *Besson* około roku 1568. Tokarka ta została przedstawiona na Rys.7. Obrabiarki nie uległy poważniejszym przemianom aż do początków rewolucji przemysłowej końca 18 wieku. Wtedy to znacznie wzrosła ilość maszyn używanych przez przemysł. Wraz z ich rozwojem wzrastał również stopień skomplikowania, a to rodziło konieczność używania lepszych obrabiarek do wytwarzania części mechanicznych.



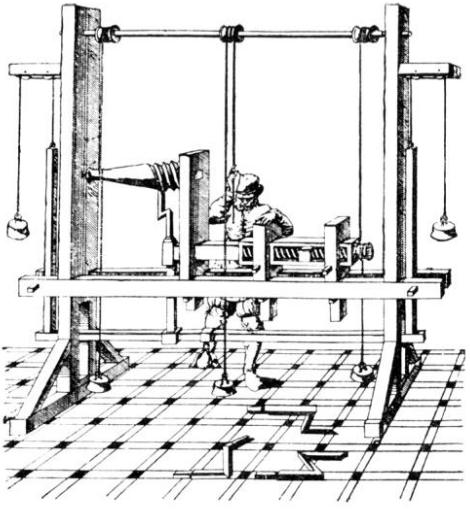
Rys.5. Tokarka Leonarda da Vinci z 1485 roku [5]



Rys.6. Pierwsza tokarka do gwintów [6]

W tym miejscu należałoby poświecić więcej uwagi maszynie, która „napędziła" rewolucję przemysłową przyczyniając się w sposób pośredni (służyła do napędu obrabiarek) i bezpośredni (nowe konstrukcje wymagały nowych doskonalszych obrabiarek) do gwałtownego rozwoju obrabiarek. Mowa będzie oczywiście o maszynie parowej. W początkach 18 wieku najbardziej palącym problemem rozwijającego się przemysłu (szczególnie w Anglii) było uzyskanie źródła energii umożliwiającego

wypompowywanie wody z coraz to głębszych kopalń[7]. Przykładowo w roku 1702 w jednej z angielskich kopalń do napędu pomp odwadniających używano 500 koni.

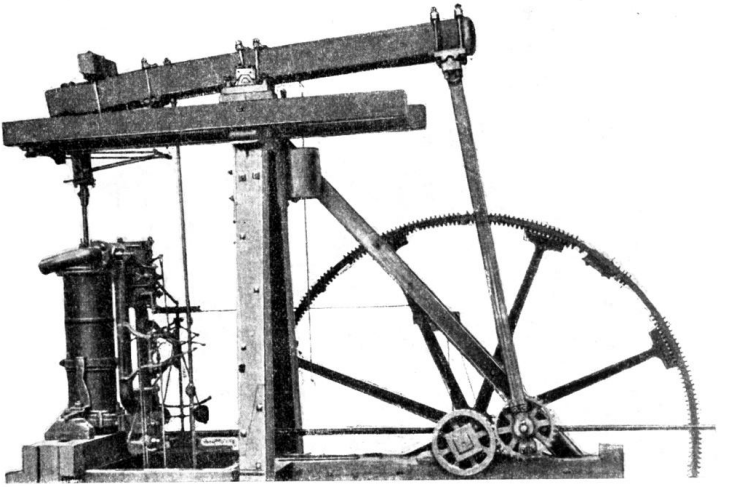


Rys.7. Tokarka do nacinania gwintów Bessona (1568) [8]

Pierwsza prymitywna maszyna parowa została opatentowana w roku 1698 przez *Savery'ego*. W 1690 roku *Papin* buduje pierwszą maszynę parową zaopatrzona w tłok i cylinder. Kolejna konstrukcja *Newcomena* (1712) łączyła w sobie pomysły *Savery'ego* i *Papina*. W roku 1769 w północnej Anglii pracowało już około sto maszyn *Newcomena*. W tym samym czasie *Smeaton* podjął udaną próbę modernizacji maszyny parowej. W wyniku badań określił *Smeaton* najbardziej odpowiednie wymiary cylindra, wielkości skoku, prędkości przesuwu tłoka itp. W 1763 roku w jednej z kopalń powierzono naprawę uszkodzonej maszyny parowej *Newcomena* młodemu mechanikowi o nazwisku *Watt*. Przeanalizował on dokładnie konstrukcję maszyny zauważając wszystkie jej braki. Pierwszy model maszyny parowej swojego pomysłu *James Watt* zbudował w roku 1765, lecz maszynę nadającą się do użytku opatentował dopiero w roku 1769. Pierwsza maszyna *Watta* zainstalowana została w roku 1776 w hucie

[7] W roku 1700 głębokości kopalń dochodziły do 120 metrów, a w roku 1750 aż do około 180 metrów [7].

żelaza *Johna Wilkinsona* służąc do poruszania miechów tłoczących powietrze do wielkich pieców. Sam *John Wilkinson* opracował specjalną wiertarkę (wg innych źródeł wytaczarkę) do wykonywania cylindrów w maszynie *Watta*. Energicznie rozwijający się w Anglii przemysł włókienniczy zgłosił zapotrzebowanie na maszynę parową do napędu maszyn obrotowych. Patent na tego rodzaju maszynę uzyskał Watt w roku 1781. Maszyna ta do napędu maszyn obrotowych wykorzystywała mechanizm planetarny (patrz Rys.8.).



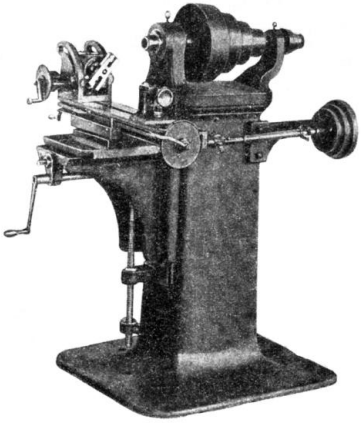
Rys.8. Maszyna parowa Watta do napędzania maszyn roboczych o ruchu obrotowym

Najistotniejszym problemem inżynierów budujących maszyny w początkach wieku 18. było uzyskanie odpowiedniej dokładności. Przykładowo w maszynach parowych *Newcomena* wymiar tłoka 28" (711,2 mm) był wykonywany z błędem ½" (12,7 mm). Dokładność taka była niewystarczająca dla budowy maszyny parowej projektu *Watta*. *Smeaton,* inżynier odpowiedzialny za wykonanie maszyny *Watta* miał powiedzieć tak: "*nie istnieją ani takie narzędzia, ani taki rzemieślnik, który mógłby wykonać tak skomplikowana maszynę z wystarczającą dokładnością*".

Maszyna parowa wymusiła rozwój obrabiarek tak gwałtownie, że już w roku 1830 dokładność wymiarów uzyskiwanych w warsztatach wzrosła do 1/16"(około1,6 mm).

Znacząco rolę w przekształceniu prymitywnych obrabiarek (szczególnie tokarek) w precyzyjne maszyny odegrał *Henry Maudslaya*. Tokarka wg konstrukcji *Maudslaya* była pierwszą całkowicie metalową obrabiarką z nowoczesnym suportem krzyżowym i precyzyjną śrubą pociągową[8]. Zastosowanie metalowej konstrukcji poprzez polepszenie sztywności spowodowało znaczący wzrost dokładności pracy takiej obrabiarki. Jednym z pracowników *Maudslaya* był *Joseph Whitworth.* Od 1833 roku *Whitworth* na własna rękę podjął prace nad udoskonaleniem gwintów. Efektem tych prac było między innymi powstanie w 1841 roku typoszeregu normalnych gwintów calowych (do dziś zwanych czasami gwintami *Whitworth'a*), który uznano za pierwszy przejaw normalizacji w dziedzinie budowy maszyn.

Masowa produkcja muszkietów wymusiła powstanie nowego typu szybkobieżnej, precyzyjnej obrabiarki – frezarki. Pierwszą frezarkę skonstruował w roku 1818 *Whitney*. Podczas produkcji muszkietów wykonywała ona elementy dotychczas obrabiane ręcznie przez wysoko wykwalifikowanych robotników. Pomiędzy rokiem 1835 a rokiem 1875 powstawały kolejno tokarka rewolwerowa, frezarka uniwersalna (Rys.9.), szlifierka do wałków zbudowana przez *Nortona*, wielowrzecionowy automat tokarski.



Rys.9. Pierwsza frezarka uniwersalna [7]

[8] Dotychczas tokarki zaopatrzone były w wałek pociągowy konstrukcji *Fox'a* (1810 r.) a toczenie gwintów odbywało się od wzornika.

Kolejnymi milowymi krokami na drodze rozwoju obrabiarek było wynalezienie w roku 1898 przez *Taylora* i *White'a* stali narzędziowej szybkotnącej umożliwiającej skrawanie z szybkościami cztery do pięć razy większymi niż dotychczas, w roku 1893 rozpoczęcie produkcji pierwszego syntetycznego materiału ściernego – syntetycznego karborundu (sztucznego węglika krzemu SiC) oraz w roku 1900 otrzymanie kolejnego syntetycznego materiału ściernego – elektrokorundu (trójtlenku aluminium Al_2O_3).

Na przełomie wieków 19 i 20 powstają pierwsze obrabiarki do kół zębatych walcowych (1896 *Fellows* i 1897 *Pfauter*) i stożkowych (1905 *Bilgram* i *Gleason*).

Zasadniczy wpływ na rozwój przemysłu przed pierwszą wojną światową wywarł *Taylor*, który wraz z *Hilberrtem, Barthem, Canttem* w latach od 1880 do 1911 opracował zasady naukowego kierowania pracą, norm technicznych, metod obliczeń w planowaniu i normalizowaniu, sposobu kontroli. Następcy i realizatorzy zasad *Taylora* doszli do nowoczesnej organizacji produkcji przemysłowej. Odpowiednie zasady *Taylora* można wyrazić w następujących punktach:

1. Zastąpienie opartych na tradycji i rutynie sposobów pracy przez nowe sposoby opracowane na podstawie doświadczeń i specjalnych studiów ruchów potrzebnych dla wykonania określonej pracy.
2. Doboru robotników najlepiej przystosowanych do danej pracy i tematyczne nauczanie ich nowych zasad pracy.
3. Oddzielenie przygotowania pracy do jej wykonania, w celu zwolnienia robotników od wykazania jakiejkolwiek inicjatywy, przerzucając tę czynność wyłącznie na kierownictwo. Wprowadzanie podziału pracy zarówno wśród wykonawców, jaki i kierownictwo, a w organizacji samego procesu produkcji – daleko idącego podziału na operacje, zabiegi, chwyty itp.
4. Wprowadzenie systemu płacy opartego na podziale zysków otrzymanych z nadwyżek produkcji.

W pierwszej połowie XIX wieku centrami rozwoju konstrukcji obrabiarek były Wielka Brytania oraz USA. Większość konstrukcji współczesnych obrabiarek ogólnego zastosowania, takich jak frezarki, wiertarki, tokarki itd. opracowano w tym czasie w Anglii. Jednak od połowy 19 stulecia to Stany Zjednoczone stały się światowym liderem w konstruowaniu obrabiarek.

Pierwsza wojna światowa (1914-1918) spowodowała, poprzez olbrzymie zapotrzebowanie na precyzyjne elementy broni, gwałtowny i nie mających w dotychczasowej historii precedensu rozwój obrabiarek. Angielski historyk *Cressy* tak opisuje to zjawisko: ”*Setki zakładów przemysłowych, w których stal szybkotnąca znana była tylko z nazwy zaczęło stosować ją regularnie. Wiele obrabiarek automatycznych, szczególnie frezarek i szlifierek, zostało wprowadzonych do produkcji w małych zacofanych warsztatach mechanicznych, w których zaczęto je wkrótce uważać za niezbędne i istotne wyposażenie parku narzędziowego. Stosowanie specjalnych uchwytów do przedmiotów o nieregularnych kształtach oraz precyzyjnych sprawdzianów przy produkcji części wymiennych rozpowszechniło się w niebywałym zakresie pod naciskiem potrzeb wojennych*”[1].

Okres po pierwszej wojnie światowej należał do gwałtownie rozwijającej się automatyzacji produkcji masowej. Pierwsze próby z masową produkcją broni miały miejsce we Francji już w latach od 1717 do 1785, następnie w USA w roku 1800. W 1809 roku *Eli Terry* rozpoczął masową produkcję drewnianych zegarków. Zastosowanie metod produkcji masowej spowodowało, że cena zegarka spadła z 25 do 5 dolarów. Około roku 1902 rozpoczęto masową produkcję samochodów (firmy *Olds* i *Ford*) z wykorzystaniem taśmowego[9] (potokowego) systemu produkcji. W roku 1934 firma Greenlee wykonała pierwszą linię złożoną z obrabiarek zespołowych wyposażonych w przenośnik ręczny, a w 1935 pierwszą automatyczną linię obrabiarkową o trzech stanowiskach roboczych. Do 1939 roku zbudowano (głównie w USA) liczne automatyczne linie obrabiarek zespołowych, głównie dla przemysłu samochodowego.

O dynamice rozwoju automatyzacji świadczyć może to, iż wyposażenie do automatycznej kontroli maszyn i procesów technologicznych w roku 1923 w USA stanowiło 8 % ogólnej sprzedaży maszyn, a w roku 1939 już 35 %. Sztandarowym przykładem automatyzacji w owych czasach była wytwórnia ram samochodowych firmy *A.O. Smith & Co* (Milwaukee, USA), w której co osiem sekund z taśmy zjeżdżała gotowa rama (10 000 ram dziennie) powstała bez bezpośredniego udziału człowieka. Załoga tego zakładu składała się ze 120 ludzi, w większości

[9] Produkcja taśmowa (potokowa, przepływowa, ciągła); jedna z form techniczno-organizacyjnych procesu produkcyjnego, oparta na zasadzie ciągłego przepływu części składowych wyrobu gotowego między stanowiskami roboczymi, ustawionymi w linie produkcyjną.

kontrolerów i obsługi technicznej. Wytwórnia ta produkowała ramy do nadwozi samochodowych dla całego przemysłu motoryzacyjnego USA (75 % produkcji) z wyjątkiem samochodów *Forda*, który posiadał własną wytwórnie.

Okres drugiej wojny światowej charakteryzował się produkcją nastawianą na wydajność co odzwierciedliło się w przemyśle obrabiarkowym powstawaniem obrabiarek specjalnych tj. przystosowanych do określonych operacji lub przedmiotów, pozwalających na wielokrotne zwiększenie wydajności w porównaniu z obrabiarkami dotychczas stosowanymi.

Okres powojenny w dziedzinie maszyn technologicznych to dalszy rozwój automatyzacji. Za [9] możemy wymienić najważniejsze osiągnięcia i udoskonalenia w dziedzinie budowy obrabiarek z tego okresu:
- uproszczenie obsługi i automatyzacja,
- rozwój obrabiarek kopiowych,
- wprowadzenie automatycznej wymiany narzędzia i przedmiotu obrabianego,
- automatyzacja pomiarów połączona z kompensacją zużycia narzędzia,
- udoskonalenie metod obróbki wykańczającej (tzw. superfinish),
- wprowadzenie sterowań programowych.

W drugiej połowie 20 wieku pojawiła się idea systemów produkcyjnych zintegrowanych[10]. W początkach lat 80. badania w zakresie takich systemów zakładały całościowe przetwarzania danych i zarządzanie nimi z jednego komputera o bardzo dużej mocy obliczeniowej [3]. Starania naukowców i inżynierów poszły w kierunku wyeliminowania człowieka jako elementu zakłócającego proces produkcyjny. Począwszy od lat 90. rozwój SPI przejawia się coraz bardziej w doskonaleniu organizacji niż ulepszaniu technologii.

4. PODSUMOWANIE

Z tego krótkiego przeglądu wynika, że idea współczesnej maszyny rodziła się i ulepszała na przestrzeni wielu stuleci. Odkrycia dokonywane przez utalentowanych wynalazców doprowadziły do powstania tysięcy odmian mechanizmów, które konstruowano opierając się na intuicji, doświadczeniu i przypadku, ale bez podstaw teoretycznych. Ostatnie sto

[10] System produkcyjny zintegrowany (SPI) = produkcja komputerowo zintegrowana (ang. computer integrated manufacturing (CIM).

kilkadziesiąt lat to rozwój podstaw teoretycznych konstruowania i eksploatacji maszyn oraz metod badawczych, bez których nie do pomyślenia byłyby maszyny 21 wieku.

5. KALENDARIUM

Przed naszą erą

Około **3000** wykopaliska z epoki kamiennej wykazują, iż już ówcześnie stosowano najprostsze maszyny i narzędzia, jak: prymitywne wiertła i piły z kamienia, młyny zbożowe.

Około **2750** wykorzystywanie w odlewaniu metody traconego wosku.

Około **2200** w Chinach znane są żurawie i kołowroty.

Około **1500** materiałami na narzędzia i przedmioty użytkowe stają się: miedź, brąz, drewno i kamień. W ośrodkach ówczesnej kultury, w Mezopotamii i w Egipcie znajdują zastosowanie tokarki z napędem strunowym, maszyny odwadniające oraz dźwignice.

Około **500** uczeni greccy odkrywają i badają prawa mechaniki i fizyki, stanowiące podstawę ówczesnych konstrukcji technicznych.

Około **200** znane i stosowane są następujące części i zespoły maszynowe: dźwignia, korba, walec, koło, tarcza, wielokrążek, ślimak i koło zębate. Jako źródło energii występuje głównie praca mięśni ludzkich, przy wybitnie rozpowszechnionym niewolnictwie.

Około **150** powstaje pierwsza pompa tłocząca.

Około **50** zastosowana zostaje prasa śrubowa.

Nasza era

Około **00** kapłani stosują do urządzeń związanych z kultem religijnym: ciśnienie pary wodnej, ciśnienie słupa cieczy oraz ciśnienie powietrza sprężonego. Zjawiska powyższe nie są stosowane do celów użytkowych. Ponadto są znane zegary słoneczne i wodne. Stosuje się miary objętości i długości.

Około **100** siłę mięśni ludzkich i zwierzęcych zastępują w młynach koła wodne.

Około **1000** w zasięgu kultury arabskiej rozwijają się w dalszym ciągu osiągnięcia techniczne w epoce starożytności. W Europie rozpoczęto stosować wiatraki.

Około **1200** rozwijające się stopniowo rzemiosła stosują oprócz kieratów napędzanych pracą zwierząt, również podsiębierne koła wodne

Około **1250** w rolnictwie rozpoczęto stosowanie ciężkiego pługu kołowego zaopatrzony w lemiesz.

Około **1350** koło wodne nasiębierne występuje jako doskonalsze rozwiązanie silnika wodnego. Odznacza się ono lepszym współczynnikiem sprawności od dotychczas stosowanych kół podsiębiernych.
Około **1350** rozpoczęto budowę pierwszych wielkich zegarów (z mechanizmami zaopatrzonymi w koła zębate) umieszczanych na wieżach kościołów i ratuszów.
Około **1400** do napędu tokarek wprowadzono koło zamachowe i układ korbowy.
Około **1450** powstała konstrukcja wiatraka zwrotnego. Jego zaletą jest możność nastawiania koła śmigłowego w kierunku wiatru, co umożliwia najlepsze wyzyskanie energii wiatru.
Około **1500** do obróbki otworów w lufach armatnich zastosowano wiertarkę pionową z napędem od kieratu.
Około **1500** Leonardo da Vinci podaje w swych szkicach i rysunkach wiele nowych konstrukcji maszyn stosowanych ogólnie i specjalnych. W konstrukcjach tych maszyn wykracza on znacznie poza możliwości ówczesnej wiedzy i technologii.
Około **1500** w Norymberdze zastosowano imadło uruchamiane za pomocą śruby.
1617 Włoch F. Verantius opisuje w swym dziele pt. „Machinae novae" pogłębiarkę chwytakową.
1650 burmistrz miasta Magdeburga Otto Guericke przeprowadza doświadczenia z pompą próżniową. Doświadczenia te przyczyniają się do pogłębiania wiadomości o ciśnieniu atmosferycznym (półkule magdeburskie).
1665 H. Hautsch z Norymbergii buduje sikawkę pożarną zaopatrzoną w banię powietrzną.
1673 fizyk holenderski Christian Huyghens przeprowadza doświadczenia z atmosferycznym silnikiem napędzanym za pomocą wybuchów prochu strzelniczego.
1680 Fizyk francuski Denis Papin jest wynalazcą kotła parowego zaopatrzonego w zawór bezpieczeństwa.
1689 Papin konstruuje pompę odśrodkową.
1690 Papin buduje parową maszynę tłokową atmosferyczną. Działanie maszyny atmosferycznej polega na tym, iż jeden z suwów pracy odbywa się pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.
1698 Anglik Th. Savery buduje beztłokową pompę parową do odwadniania kopalni.
1711 Anglik Thomas Newcomen konstruuje maszynę parową tłokową atmosferyczną do pompowania wody w kopalni.

1717 zastosowana zostaje metoda wytapiania żelaza na koksie.
1718 Rosjanin A. Nartow stosuje suport w tokarce własnego pomysłu.
1750 fizyk Johann Andreas Segner konstruuje turbinę wodną reakcyjną zwaną kołem Segnera.
1765 Rosjanin Iwan I. Połzunow buduje dwucylindrową maszynę parową z balansjerem, która służy do napędu dmuchawy.
1768 żeliwo występuje jako podstawowy materiał do budowy maszyn. Anglik John Smeaton buduje z żeliwa pierwszą dmuchawę tłokową do zasilania wielkiego pieca.
1769 Anglik James Watt uzyskuje patent na maszyn parową o niskim ciśnieniu pary dolotowej. Maszyna pracuje z kondensacją pary wylotowej.
1784 Anglik J. Cooke konstruuje siewnik rzędowy.
1784 J. Watt uzyskuje patent na obustronnie działającą maszynę parową z obracającym się wałem korbowym oraz z kołem zamachowym, które wyprowadza układ korbowy z martwych położeń.
1786 Anglik A. Meikle buduje pierwszą młocarkę.
1795 Anglik Joseph Bramah buduje prasę hydrauliczną.
1797 Anglik H. Maudslay buduje i uruchamia pierwszą tokarkę z suportem napędzanym od śruby pociągowej. Po raz pierwszy uzyskano wymuszone prowadzenie narzędzia.
1800 Anglik Richard Trevithick uzyskuje patent na maszynę parową wysokiego ciśnienia.
1802 J. Bramah buduje strugarkę o napędzie parowym.
1818 Amerykanin Eli Whitney konstruuje pierwszą frezarkę, której posuw stołu odbywa się samoczynnie.
1823 Anglik S. Brown konstruuje wielocylindrowy silnik benzynowy atmosferyczny z zapłonem płomieniowym.
1832 Pixxi konstruuje prądnicę elektryczną.
1834 Amerykanin Cyrus Hall Mc Cormick konstruuje kosiarkę, którą demonstrowano na londyńskiej wystawie światowej w roku 1851.
1838 Anglik William Fairbaairn konstruuje pierwszą niciarkę.
1839 Szwajcar Johann G. Bodmer uzyskuje patent angielski na konstrukcję tokarki karuzelowej.
1840 Anglik James Nasmyth konstruuje młot parowy.
1840 Francuz Benolt Fourmeyron konstruuje promieniową odśrodkową turbinę wodną pracującą przy spadzie 180 m, której sprawność dochodzi do 80% przy 2300 obrotach na minutę.
1840 po raz pierwszy na świecie wprowadzono we Francji metryczny system miar.

1841 Anglik Joseph Whitworth wprowadza znormalizowany gwint calowy, który uzyskuje międzynarodowe rozpowszechnienie i jest stosowany do dnia dzisiejszego.
1845 Amerykanin St. Fitch wprowadza do toczenia głowicę zaopatrzoną w 8 narzędzi, stając się tym samym wynalazcą tokarki rewolwerowej.
1849 Amerykanin James Bicheno Francis konstruuje odśrodkową turbinę wodną z promieniowym zasilaniem dośrodkowym i osiowym wypływem wody. Konstrukcja ta stosowana jest do dnia dzisiejszego.
1849 Amerykanin George Henry Corliss konstruuje stawidło maszyny parowej zaopatrzone w suwaki obrotowe.
1850 Anglik J. Fowler wprowadza orkę za pomocą lokomobili i pociągu linowego.
1853 Włosi E. Barsanti i F. Malleucci budują i uruchamiają atmosferyczny silnik spalinowy z tłokiem swobodnym.
1860 Francuz E. Carre konstruuje chłodziarkę amoniakalną.
1860 Francuz J. J. E. Lenoir buduje większą ilość silników spalinowych zaopatrzonych w zapłon elektryczny, jednak bez wstępnego sprężania mieszanki, co znacznie obniżało sprawność silnika.
1877 Niemiec N. A. Otto otrzymuje patent na czterotaktowy silnik spalinowy z wstępnym sprężaniem mieszanki wybuchowej. Konstrukcja tego silnika wykazała właściwy stopień ekonomii zużycia paliwa.
1877 Amerykanin E. Thomson wynalazł zgrzewarkę elektryczną.
1878 Amerykanie stosują samoczynną żniwiarkę, która spełnia równocześnie funkcję wiązania snopów.
1880 Szwed C. G. P. de Laval buduje akcyjną turbinę parową pracującą przy 40000 obrotów na minutę.
1880 Amerykanin Lester Allen Pelton konstruuje turbinę wodną akcyjną, zasilaną na części obwodu wirnika za pomocą wody wypływającej z regulowanej dyszy.
1883 Niemcy Gottlieb Daimler i W. Maybach budują lekki szybkobieżny silnik benzynowy z zapłonem od rurki żarowej.
1883 fizycy polscy Karol Olszewski i Zygmunt Wróblewski przeprowadzają skroplenie powietrza.
1884 Anglik Ch. A. Parsons uzyskuje patent na turbinę parową reakcyjną.
1886 Amerykanin E. Thomson wprowadza spawanie oporowe prądem zmiennym wysokiego napięcia.
1887 N. Bernardos wprowadza spawanie łukowe za pomocą elektrody węglowej.
1887 Niemiec R. Bosch buduje pierwszy iskrownik magnetyczny służący do zapłonu w wolnobieżnych silnikach spalinowych

1897 Austriak Rudolf Diesel konstruuje wysokoprężny silnik spalinowy na ciężkie paliwa. Silnik ten działa według cyklu czterotaktowego o swoistym przebiegu. Stanowi on do dnia dzisiejszego najekonomiczniejsze rozwiązanie pod względem zużycia i kosztów paliwa.
1899 Amerykanin M. J. Owens konstruuje pierwszą na świecie samoczynną dmuchawkę.
1899 Niemiec H. Goldschmidt wykorzystuje do spawania wysoką temperaturę powstającą podczas spalania aluminium (metoda spawania termitem).
1903 E. Menne wprowadza cięcie metali za pomocą tlenu. Cięcie odbywa się przez spalanie w atmosferze tlenu warstwy metalu oddzielającej rozcinane przedmioty.
1905 Francuz Fouche wprowadza metodę spawania płomieniowego.
1905 Fizyk niemiecki W. Gaede buduje wirnikową pompę rtęciową.
1910 Szwed B. Ljungstrom buduje turbinę parową na wysokie ciśnienie pary dolotowej, według konstrukcji własnego pomysłu.
1910 Austriak Victor Kaplan konstruuje turbinę wodną śmigłową z wirnikiem o nastawnych łopatkach, nadającą się do niewielkich (max 80 m) spadów.
1928 Polak Wacław Moszyński profesor Politechniki Warszawskiej opracowuje polski układ pasowań średnic podstawę do opracowania międzynarodowego układu tolerancji średnic i pasowań (ISO).
1929 Polak Roman Witkiewicz, profesor Politechniki Lwowskiej uzyskuje patent na pneumatyczno-hydrauliczne sterowanie bezkorbowej silniko-sprężarki.
1930 inżynier niemiecki H. Junkers buduje pierwszy wysokoprężny silnik lotniczy.
1934 konstruktorzy polscy inżynierowie Adam Wiciński i Jakub Bujak uzyskują patent na metodę doładowywania silników spalinowych tzw. „Wibu". Sposób ten polega na wydłużeniu rury ssącej, co umożliwia dodatkowe przyśpieszenie słupa powietrza ssanego i wprowadzenie go w większej ilości do przestrzeni sprężania silnika.
1937 Anglik F. Whittle buduje silnik reakcyjny z dyszą, przez którą następuje wylot gazów nadających ruch silnikowi.
1942 Włoch E. Fermi uzyskuje po raz pierwszy energię powstającą z rozpadu atomu uranu w reakcji łańcuchowej (pierwszy reaktor jądrowy).
1946 badacze radzieccy N. i B. Łazarenkowie uzyskują międzynarodowe patenty na elektroerozyjną obróbkę metali.

1954 powstaje pierwsza na świecie siłownia atomowa. Siłownia ta wykorzystuje ciepło powstające przy rozpadzie uranu do wytworzenia pary wodnej, która z kolei porusza silnik parowy.
1961 rosyjski kosmonauta Juri Gagarin jako pierwszy człowiek odbywa lot kosmiczny
1973 amerykańska Firma Texas Instrument patentuje 4-bitowy mikroprocesor

LITERATURA

[1] Cressy E.: A Hundred Years of Mechanical Ingineering. London, 1937.
[2] Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa, 1985.
[3] Encyclopedia Universalis - Świat nauki współczesnej. PWN, Warszawa, 1996.
[4] Encyklopedia Techniki Tom Budowa Maszyn WNT Warszawa, 1968.
[5] Paderewski K.: Vadenecum obrabiarek skrawających. WNT, Warszawa, 1979.
[6] Orlik Z.: Maszynoznawstwo. WSiP, Warszawa, 1989.
[7] Lilley S.: Ludzie, maszyny i historia. PWN, Warszawa, 1958.
[8] Wielka Encyklopedia Internetowa
[9] Wrotny L.T.: Projektowanie obrabiarek. WNT, Warszawa, 1986.

BRIEF HISTORY OF MACHINES WITH SPECIAL REFERENCES TO MACHINE TOOLS

Abstract. The article is presented in summary form stages of development machines. Particular attention was devoted to the selected machines such as machine tools for metal cutting. At the end of the article contains a calendar of events related to the most important discoveries in the field of mechanical engineering.